

DD221563A1

Office for Inventiveness and Patentability

in Drafting submitted by applicant and published

(22) 14.09.83

(44) 24.04.85

(71) VEB ZET Microelectronic, 8080 Dresden, Karl-Marx-Street,  
DD

(72) Pfort, Rainer; Westphal, Peter, Dipl.-Phys.; Stenzel,  
Rolf, DD

(54) Immersion Objective for Stepwise Projection Image-  
forming of Mask Structure

(54) Immersion Objective for Stepwise Projection Image-  
formation of Mask Structure

(57) The invention relates to an immersion objective for  
stepwise projection image-formation of a mask structure on a  
semiconductor disk useful for a photolithographic method for  
producing an integrated semiconductor circuit. The object  
of the present invention is to prevent gas small bubbles  
from being contained, streaks from being formed, and to  
prevent the disk-table, the disk-table end, and the disk-  
table back side from being wetted, which are generated by a  
conventional construction method using an immersion  
objective. According to this embodiment, the problem is  
solved by the auxiliary device in the objective, with the  
aid of the supply of the liquid mixed and pressure-measured

up, while the exposure process and the succeeding discharge not only inside of the auxiliary device but also on and from the semiconductor disk is carried out. Various embodiments of the device enables many exposure variations. The present invention can be applied in the field of photolithography.

## Immersion Projective for Stepwise Projection Image-formation of Mask Structure

### Application Field of the Invention

The present invention relates to stepwise projection image-formation of a mask structure on a semiconductor disk useful for a photographic method for producing an integrated semiconductor circuit.

The present invention can be applied in the territory of semiconductor techniques.

### Characteristics of Known Technical Solution

In order to transfer mask structures onto a semiconductor substrate in production of integrated semiconductor circuits, optical projection methods and apparatuses have been increasingly used.

With such devices, the image or structure of a mask is transferred onto a semiconductor substrate with the aid of an optical projection system. High requirements are made for the resolution-capability of optics, an image-field size, a constant yardstick, an employed light source, and other image-forming parameters.

These requirements can be satisfied with refractive indexes only in the case of monochromatic image-formation.

Based on the large difference between the thickness of an employed photoresist layer and the coherence length of

used monochromatic light, interference light appears in the photoresist layer, and disadvantageously affects the adjustment-process and the image-forming process. This disadvantage is given also in the case of stepwise exposure at a reduced image-formation scale ( $1 : x$ ), in which the overall surface of a semiconductor substrate must be adjusted and exposed many times.

To further reduce the structure, to shift the upper limit of the numerical aperture of an objective and the frequency at a resolution limit and to reduce the variation of a structure-width which is generated as a result of the appearance of interference in the resist layer in association with the variation of the layer-thickness of the resist, for example, in the stage of a semiconductor substrate already processed, it is known in EP-PS23231 to carry out the exposure of a semiconductor substrate in a liquid of which the refractive index is adapted to a coating material coated onto the semiconductor substrate.

To carry out the projection method, the liquid is so placed between the projection objective and the semiconductor substrate that the objective-opening and the substrate-reception portion for the semiconductor substrate exist completely in the liquid. The liquid is brought into or is taken out of a container tightly containing the objective and the substrate-reception portion by use of

adequate apparatuses.

This method has disadvantages in which the movement of a substrate-table required for the implementation of the adjustment-process and the exposure-process can be made only at a low speed, since the acceleration and retardation at a high value will cause the liquid to leak, and high resolution can be obtained only when the medium is stable. Moreover, when the substrate is supplied and removed, and also, the back side of the substrate is cleaned, high expense is required for the complete wetting of the substrate. Air- or gas-small bubbles adhering to the liquid-container, formed when the semiconductor substrate is placed therein, and nitrogen-small bubbles generated when a positive coating material is exposed disadvantageously affect the exposure process, since these bring to deficient exposure.

In DD-application of H01L/240 786/8, an immersion-objective is described, wherein the space between the surface of a substrate to be partially exposed and the lower objective-lens is filled with an immersion liquid. This space is formed of a shell which is tapered so as to have an image-field size. The shell can be connected to the objective on one side, and can be lowered to a semiconductor substrate to be exposed at a small interval on the other hand. The immersion liquid is supplied under external

pressure-control, completely remains on the substrate after the exposure-step, and finally must be separated and removed. Moreover, the liquid leaks, which can not be controlled. This requires the expense of the after-working and cleaning of the exposed semiconductor substrate and the substrate-reception portion, and the immersion liquid is lost.

Moreover, air- or gas-small bubbles enclosed when substrates are exchanged, and the substrate-reception portion is conveyed cause defects, and harmfully affect the image-formation, depending on the distance between the container and the substrate.

#### Object of the Invention

The object of the invention is to prevent harmful gas-small bubbles from being enclosed and the formation of streaks in the immersion liquid and to remove the disk-edge, the disk-table, and the disk back-side from being wetted with an immersion liquid.

#### Characteristics of the Invention

The immersion objective according to the present invention has two immersion systems on the side thereof facing the semiconductor substrate, wherein a first immersion-system is formed in which the tapered opening, facing the substrate, of the auxiliary device arranged in

the objective is medium-tightly closed by means of a light-transmittable disk, wherein the space existing between the last optical component and the light-transmittable disk is filled with an immersion liquid. Furthermore, a second immersion system is provided, in which a second immersion liquid is provided between the light-transmittable disk and the semiconductor substrate by means of a ring arranged in parallel to the surface of the substrate in the auxiliary device. The ring has at least one opening arranged in front of the auxiliary device of the objective and at least one opening arranged behind the auxiliary device of the objective, as viewed in the horizontal substrate-table movement. The openings are connected via tubes and pipes, to storage devices installed therein and filter- and thermostat devices having supply- and pressure balancing-pipes, wherein these tubes or the pipes form a closed system through the opening provided in front of the auxiliary device having the tube or pipe and the opening provided behind the auxiliary device. In the closed system, the mentioned devices are integrated.

In the auxiliary device, supply-pipes for the immersion liquid are provided on one side, and contain devices for reducing pressure and storage devices, receptacles as storage- and pressure-balancing devices, and thermostat devices. The supply-pipes are joined to diversions on the

other hand, and thereby a closed system is presented.

In the supply-pipes for the first immersion liquid, devices for reducing a pressure and dividing the liquid are provided directly in front of the outlet opening. Moreover, the auxiliary device is formed in the objective so that the height can be adjusted, and the position is restricted by upper and lower stoppers.

For the immersion-exposure, the auxiliary device has a plane-parallel glass plate or a plane-concave lens having a low refractive force as a light-transmittable disk in the opening facing the semiconductor disk and tapered.

In an embodiment, the solving means contains the light-transmittable disk formed of a foil having a refractive index adequate for a photoresist coated on the semiconductor disk.

The foil can be formed so as to have a thickness of 0.5 to 100  $\mu\text{m}$ , and does not reflect on the side thereof facing the objective, with respect to the wavelengths of an incident light utilized for transfer of the structure, positioning of a cover, and/or focusing, and moreover, the foil is adapted to the refractive index of the immersion liquid arranged on the semiconductor substrate.

Advantageously, the foil is formed with nitrocellulose, polyquinoxaline, or polycarbonate, and the interval between the plane-parallel glass plate, the plane-concave lens, or



the foil and the surface of the photoresist existing on the semiconductor disk is in the range of 5  $\mu\text{m}$  to 5 mm.

In another embodiment of the present invention, a guide is provided in the ring arranged in the opening of the supply-pipe on the auxiliary device side, a shell is arranged in the ring movably in the vertical direction, the opening on the resist side, which is smaller than the supply-pipe arranged on the upper side, is formed, e.g., like a nozzle, and a sensor formed as an interval-measuring device is provided on the upper side of the ring, and is in the working-connection state with means for detecting and evaluating a measurement existing on the outer side of the immersion objective. Advantageously, shells for interval-measurement to focus arranged on many positions of the ring, for example, are arranged in guides provided at equal intervals from each other. Moreover, advantageously, the first and second immersion systems have the same immersion liquid. In a more preferred embodiment of the present invention, the surface of the photoresist coated onto the semiconductor substrate is pre-treated with a medium having a low surface tension, for example, with a curing agent.

The immersion liquid of the first and second immersion systems is thermostat-controlled during the exposure process, and preferably, has a temperature of  $22 \pm 1^\circ$ .

The light source for the transfer of the structure has

ultraviolet rays of which the wavelength is in the spectral range of from 200 to 450 nm.

To start an exposure process for a semiconductor substrate fixed on the substrate-reception portion in an ordinary way and having a layer of photoresist formed thereon, the surface thereof is provided with a medium having a low surface tension, for example, with a curing agent. The semiconductor substrate is brought into the irradiation area under the auxiliary device of the objective with the substrate-reception portion and by means of the corresponding device. For the exposure process, the auxiliary device between the optically neutral layer facing the semiconductor substrate and arranged in the tapered opening, the layer being made, e.g., of a plane-parallel glass plate, and the optical component at the last position on the objective side of the objective is completely filled with the immersion liquid. Thereby, the immersion liquid is constantly supplied and discharged and is maintained at a constant temperature.

To prevent the formation of a streak in the immersion liquid in the irradiation area, means for homogeneously distributing are provided in the supply-openings. The liquid is discharged via a suitable filter, and is supplied via corresponding pipes and tubes and thermostat devices of a pressure-balancing and storage-device which is joined to

the auxiliary device on the outlet-side thereof again, and thereby, a first immersion system is formed.

The second immersion system is formed as follows. That is, directly before the construction process is started, an immersion liquid is given through the supply-opening arranged in the ring, in front of the auxiliary device, as viewed in the substrate-table movement, with the aid of the corresponding regulation- and controlling-devices onto the semiconductor disk and the surface thereof provided with the photoresist and the curing agent, and subsequently, the auxiliary device is lowered so much that the immersion liquid film formed between the ring and the light-transmittable disk on the under side of the auxiliary device remains constant and is not left during the movement of the substrate-table. The supply of the immersion liquid, with respect to the quantity, is carried out so that a liquid wall generates in front of the supply-opening.

When the space between the auxiliary device and the semiconductor disk has been completely filled with the liquid, the exposure process is carried out stepwise, so that the immersion liquid behind the auxiliary device in the substrate-table movement direction is sucked in the ring by the corresponding discharge devices, and is supplied to the second system again. In the case of the direction of the exposure process is changed which is carried out on the

substrate-ends, the function of the existing the supply- and discharge-devices for the immersion liquid is correspondingly steered, so that the second exposure-"track" in the backward movement of the substrate table is realized analogously to the forward-movement. The mentioned operation is repeated until the construction of the semiconductor substrate is completed.

At the end of the exposure process, the immersion liquid existing under the auxiliary device is exhausted under the corresponding control of the supply- and discharge-devices. For the exchange of the substrates, the auxiliary device is lifted to an adequate position.

The installation of the shell arranged inside of the ring, vertically in the movement, together with the assigned means, i.e., sensors and devices for detecting and evaluating a measurement, enables the precision exposure interval measurement, focusing, and plane-assignment during the construction-process.

#### Embodiment

The present invention will be described in detail with reference to an embodiment and drawings. In the drawings,

Fig. 1 schematically illustrates an immersion objective according to the present invention.

Fig. 2 is a block diagram of an exposure process.

Fig. 3 schematically shows a variation of the immersion objective according to the present invention.

Fig. 4 shows a device for measuring a height.

According to Fig. 1, the immersion objective has an auxiliary device 7 in an objective 1. The auxiliary device 7 is tapered to have an exposure-diameter on the side thereof facing the substrate-reception portion 16. The tapered opening is medium-tightly enclosed by a light-transmittable disk 3 and by means of a frame 3.1. A ring 6 is provided on the objective-side of the auxiliary device 7, and thereby, the position of the auxiliary device 7 can be restricted against an upper stopper 6.1 and a lower stopper 6.2. The conical portion of the auxiliary device 7 is formed so as to have double walls. The inner wall 7.2 has openings at predetermined positions. Similarly, openings are arranged at predetermined points in the outer wall 7.1. Supply-pipes 17 and discharge-pipes 18 are joined to the openings. Deflection plates 19 are provided in front of the openings of the supply- and discharge-pipes 17, 18.

According to another embodiment, the supply-pipe 17 provided for the outer wall 7.1 of the auxiliary device 7 on the right side viewed in the drawing is connected to a stopping device 15 and a pressure balancing- and storage-device 14. The device 14 is provided with a joint 14.1. The discharge-pipe 18 arranged with respect to the outer wall

7.1 on the left side in the drawing has a filter- and thermostat-device 8. The outlet 8.1 thereof is connected to the joint 4.1. A hollow space 4 existing between an optical component 2 at the last position on the objective-side and a disk which is optically neutral and transparent is completely filled with an immersion liquid 4.1. The immersion liquid is extended via the supply- and discharge-pipes 17 and 18, and the outlet 8.1 and the joint 14.1, so that a first closed immersion system is formed.

To construct a second immersion system, a ring 9 is provided on the under side of the auxiliary device 7. In the ring 9, at least one opening 10 and one opening 11 are provided, respectively. The openings 10 and 11 are provided in front of and behind the auxiliary device in the substrate-movement direction. The multiple arrangement of the openings 10 and 11 can be so made that they are arranged on a common partial circle and are provided around the under-side opening of the auxiliary device 7, concentrically and at an interval, respectively. To the opening or openings 10 in the ring 9, a pipe or pipes 12 are connected via corresponding connecting- and joining-elements. Subsequently, the pipe 12 is connected to a pressure-balancing device and/or a storage device 14. The flow-guide is so formed that the tube or the pipe 12 is divided in front of the pressure-balancing and/or storage device. In

this case, fluid-technically, a branch 12.1 for a second immersion liquid 4.1 gives a flow-direction through an open stopping-device 15 and the flow-direction by a stopping device 15.1 arranged in the other branch in the storage direction.

After the stopping-device 15, a filter- and thermostat-device 8 is provided. After the pressure-balancing- and/or storage-device 14, the pipe or tube 12 is continued to the joint on the on the outlet side. In front of the branch, the stopping device 15.1 is provided. The device 15.1 is arranged so as to pass the immersion liquid 4.1 flowing from this direction.

If many tubes or pipes 12 connected as supply-pipes are provided, they are joined before the branch 12.1, so that the immersion liquid is supplied through all of the provided openings 10.

In the variation illustrated in Fig. 1, the opening or openings 11 are provided as exhaust portions in connection to the tube- or pipe 13. In this case, the exhausted immersion liquid 4.1 is fed by an adequate device, and is supplied to the front of the auxiliary device 7 by devices for cleaning and supplying to the layered semiconductor substrate 16.

The openings 10 and 11 can be applied selectively as supply-pieces for the immersion liquid 4.1 provided in front

of the auxiliary device 7 or as exhaust-pieces behind the auxiliary device 7 while the semiconductor substrate 25 is moved, depending on the movement-direction of the semiconductor substrate 25, respectively.

The immersion liquid 4.1 used according to Fig. 1 is thermostat-controlled not only inside of the auxiliary device 7 but also between the auxiliary device 7 and the surface of the layered photoresist. In this case, preferably, the temperature is maintained constant at  $22 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Fig. 4 shows a device for measuring an interval 9 between the surface of a photoresist 26 and the light-transmittable disk 3 or the underside of the ring 9. The interval corresponds to a predetermined exposure-interval. Moreover, the opening 10 provided in the ring 9 has a guide 20. In the guide 20, a shell 21 having a lower-side opening formed as a nozzle 24 is movably arranged. The shell 21 is coupled to a sensor 22 on the upper side of the ring 9. The sensor 22 is connected to means 23 for detecting and evaluating a measurement. The upper-side of the shell 21 is connected to a supply-pipe for supplying an immersion liquid 4.2.

When the immersion liquid 4.1 with a constant flow-speed is supplied through the shell movable together with the nozzle 24, the disk-table is lifted to reduce a gap a,



and thereby, the shell 21 is shifted, so that the flow-resistance can be increased, and the force-vector normal to the surfaces of the photoresist 26 and the ring 6 can be increased. This is controlled by the sensor 22, the information is supplied to an electro-mechanical coupler provided inside of the means 23 for detecting and evaluating a measurement, and thus, the disk-table is shifted. Advantageously, the shell 21 formed as a measuring probe is provided near the many openings 10 and 11. In this case, preferably, the arrangement can be provided in a triangular pattern inside of the ring 9, and, thereby, the plane-assignment can be realized.

Also, the example of the immersion objective illustrated in Fig. 3 has the auxiliary device 7, which is objectionably formed. The auxiliary device 7 forms a space 4 between the optical component 2 at the last position on the objective side and the tapered upper opening.

The light-transparent disk 3 is provided in the frame 3.1 which corresponds to the diameter of the image field. Similarly, the opening in the objective side has a ring 6 and under- and upper-stoppers 6.1 and 6.2. The ring 9.1 existing on the tapered side in the plane containing the light-transmittable disk 3 is provided with bores/openings 10 and 11. The openings 10 and 11 are arranged on two partial-circles different from each other, around the

optical axis A.

The openings 10 are provided on the inner partial-circle doubly and multiply at an interval, and are connected centrally to a pressure-balancing- and storage-device via a supply-pipe 17 and a storage device 28. At least two or more openings 11 are arranged at an interval on the outer partial-circle, and have the diversions 18 with storage devices 29. The diversions 18, in their further arrangement, are connected to each other, and are guided via the pipe or tube 13 of filter- and thermostat-device 8, and moreover, on the outlet side, are connected to the inlet of the pressure-balancing- or storage device 14,

At the start of the auxiliary device according to the present invention / before the start thereof, the immersion liquid 4.1 in the corresponding storage devices, and for the exposure interval, the space a is adjusted by the lowering of the auxiliary device 7 or the lifting of the disk-table. In association with the relative movement of the substrate-table assigned to the first exposure-step, the immersion liquid 4.1 is flown to be supplied via the supply pipe 17 and via the opening 10, onto the surface of the semiconductor substrate 25 having a layer of the resist 26 formed thereon, in such a manner that the space a is filled with a homogeneous liquid-film, and a narrow liquid-wall 4.2 is formed in relation to the relative movement of the

substrate-table 16. After the liquid is coated through the supply-pipe 17 and after the exposure-step is performed, the immersion liquid 4.1 is discharged through the openings 11 having the connected diversions 18, and is supplied to the after-connected devices for cleaning, temperature-adjustment, and storages 8 and 14 while the storage devices 28, 29, and 30 and the pressure-balancing- and storage-device 14 are adequately controlled.

Fig. 2 shows a block diagram of an exposure process.

The exposure of a semiconductor substrate is carried out according to a predetermined flow-program in such a manner that a semiconductor substrate is treated with a curing agent in advance, is placed in the exposure device, and is fixed on a substrate-table after pre-adjustment process.

Also, it is possible to coat a curing agent in the exposure device directly after the pre-adjustment- or setting-process is carried out.

Subsequently, the substrate-table, together with the semiconductor-substrate, is transported to position under the objective provided with the auxiliary device. The auxiliary device is lowered until the exposure interval is obtained. While the substrate-table is circularly moved, a stable immersion liquid film is formed between a photoresist or the curing agent and the lower-side edge of the light-

transmittable disk of the ring in the auxiliary device by the supply of the thermostat-controlled immersion liquid through the corresponding openings.

In the succeeding step, the first exposure-position is attained, while further immersion liquid is supplied, the semiconductor-substrate is positioned, and the first exposure step is carried out.

The further exposure-sequence is carried out analogously to the first exposure until the exposure of the semiconductor substrate is completed, and the supply of the immersion liquid is stopped.

In the succeeding step, the immersion liquid existing on the semiconductor substrate is exhausted while the substrate-table is circularly moved, and the auxiliary device is lifted, so that subsequently, the substrate-exchange can be made, and further the working of the following substrates can be carried out.

In particular, the advantages of the immersion objective according to the present invention are attained in that no dust-particles and air- and gas-small bubbles contained exert a negative influence over the exposure process by the constant flowing-through of the immersion liquid not only between the auxiliary device and the photoresist on the semiconductor substrate but also between the optical component at the last position on the objective

side and the light-transparent disk. Moreover, high relative movement of the substrate table can be made, due to the arrangement of the immersion layer according to the present solving means, without smearing of the semiconductor substrate on the outside of the exposure field. Similarly, the smear on the back side, which brings to large disadvantageous working as in the case of known solving means, is eliminated. Moreover, the wetting of the substrate reception portion and the direct substrate-table area is further eliminated. With the treatment of the resist surface with the curing agent, the immersion liquid can be substantially completely eliminated, and thereby, the cleaning-expense required for the succeeding working-step can be considerably reduced.

## Claims

1. An immersion objective for the projection image-formation of a mask structure on a semiconductor substrate for use in a photolithographic method for producing an integrated semiconductor circuit, the immersion objective having a refractive index of a liquid corresponding to a photoresist in an auxiliary device between the objective and the semiconductor substrate, characterized in that

a first immersion-system is provided in the objective (1), in which, of the auxiliary device (7) arranged in the objective (1), the tapered opening facing the substrate is medium-tightly closed by means of a light-transmittable disk (3); in that the hollow space (4) existing between the last optical component (2) and the light-transmittable disk (3) is provided and is filled with an immersion liquid (4.1); and in that, furthermore, a second immersion system is provided, wherein a ring (9) is joined to the case (7.1) of the light-transmittable disk (3) in parallel to the surface of the substrate (25) in the auxiliary device, in which at least one opening (10) is arranged in front of the objective (1) and at least one opening (11) is arranged behind the objective (1), the openings (10) and (11) being distant from each other, as viewed in the substrate-movement direction, and being connected via tubes and pipes (12, 13) to storage

devices installed therein and filter- and thermostat devices (6) having supply- and pressure balancing-pipes (14) and thus, being formed as a closed system.

2. An immersion objective according to Point 1, characterized in that in the auxiliary device (7), supply-pipes (17) for the immersion liquid (4.1) are provided on one side, in which devices for reducing pressure (5) and storage devices (15) are contained; in that, furthermore, containers are assigned as storage- and pressure-balancing devices (14) for the immersion liquid (4.1); and in that, on the other hand, at least one diversion pipe (18) having filter- and thermostat-devices (8) are arranged, the devices (8) forming a closed system by means of the connection (14.1) of the supply- and the pressure-balancing devices (14).

3. An immersion objective according to Point 2, characterized in that a deflection plate (19) is arranged in front of the outlet opening of the supply-pipe (17).

4. An immersion objective according to Points 1 to 3, characterized in that a ring (6) of the auxiliary device (7) in the objective (1) can be adjusted in height with respect to the stoppers (6.1, 6.2).

5. An immersion objective according to Point 1, characterized in that the light-transparent disk (3) of a plane-parallel glass plate or a plane-concave lens exhibits a low refractive force.

6. An immersion objective according to Points 1 and 5, characterized in that the light-transparent disk (3) formed of a foil exhibits a refractive index suitable for a photoresist (26).

7. An immersion objective according to Points 1, 5 and 6, characterized in that the foil has a thickness of 0.5 to 100  $\mu\text{m}$ ; in that the foil and the plane-parallel glass plate do not reflect on the side thereof facing the objective (1) with respect to the wavelengths of an incident light used for the transfer of the structure, positioning of a cover, and/or focusing, and has a refractive index suitable for the immersion liquid (4.1) existing on the semiconductor substrate (25).

8. An immersion objective according to Points 6 and 7, characterized in that the foil is formed with nitrocellulose, polyquinoxaline, or polycarbonate.



9. An immersion liquid according to Points 1 and 5 to 8, characterized in that the light-transmittable disk (3) is arranged in the range of 5  $\mu\text{m}$  to 5 mm on the semiconductor substrate (25).

10. An immersion objective according to Point 1, characterized in that the opening (10) of the supply-pipe (17) has a guide (20) in which a shell (21) having a nozzle (24) is arranged movably in the vertical direction, wherein a sensor (22) formed as an interval-measuring device is provided on the upper side of the ring (6) near the shell (21), and furthermore, means (23) for detecting and evaluating a measurement is provided on the still outer side of the immersion objective.

11. An immersion liquid according to Point 1, characterized in that the second immersion system is provided with the immersion liquid (4.1).

12. An immersion objective according to Points 1 to 11, characterized in that the surface of the photoresist (26) coated on the semiconductor substrate (25) is pre-treated with a medium having a low surface tension, for example, with a curing agent.

13. An immersion objective according to Points 1 to 12, characterized in that the immersion liquid (4.1) has a predetermined temperature range.

14. An immersion objective according to Point 13, characterized in that the temperature of the immersion liquid (4.1) is  $22 \pm 1^{\circ}$ .

15. An immersion objective according to Points 1 to 14, characterized in that as a light source for the transfer of a structure, ultraviolet light is used, of which the wavelength is in the spectral range of 200 to 450 nm.

DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK

PATENTCHRIFT



(12) Wirtschaftspatent

(19) DD (11) 221 563 A1

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

4(51) G 02 B 1/06

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 02 B / 254 806 8

(22) 14.09.83

(44) 24.04.85

(71) VEB ZFT Mikroelektronik, 8080 Dresden, Karl-Marx-Straße, DD

(72) Pforr, Rainer; Westphal, Peter, Dipl.-Phys.; Stenzel, Rolf, DD

(54) Immersionsobjektiv für die schrittweise Projektionsabbildung einer Maskenstruktur

(57) Die Erfindung betrifft ein Immersionsobjektiv für die schrittweise Projektionsabbildung einer Maskenstruktur auf Halbleiterscheiben für fotolithografische Verfahren zur Herstellung integrierter Halbleiterschaltungen. Das Ziel der Erfindung besteht darin, die mittels Immersionsobjektiv herkömmlicher Bauart entstehenden Gasblaseneinschlüsse, Schlierenbildungen sowie Benetzung des Scheibentisches, -randes und der -rückseite mit Immersionsflüssigkeit zu vermeiden. Die erfindungsgemäße Aufgabe wird durch eine Vorsatzeinrichtung am Objektiv gelöst, mit deren Hilfe eine mengen- und druckdosierte Flüssigkeitszuführung während des Belichtungsprozesses sowie deren nachfolgende Absaugung sowohl innerhalb der Vorsatzeinrichtung als auch auf und von der Halbleiterscheibe erfolgt. Verschiedenartige Ausführungen der Vorrichtung ermöglichen unterschiedliche Belichtungsvarianten. Die Erfindung ist auf dem Gebiet der Fotolithografie einsetzbar.

ISSN 0433-6461

24 Seiten

Immersionsobjektiv für die schrittweise Projektionsabbildung einer Maskenstruktur

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Immersionsobjektiv für die schrittweise Projektionsabbildung einer Maskenstruktur auf Halbleiterscheiben für fotolithografische Verfahren zur Herstellung integrierter Halbleiterschaltungen.

Die Erfindung ist auf dem Gebiet der Halbleitertechnik anwendbar.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Zur Übertragung von Maskenstrukturen auf Halbleitersubstrate für die Herstellung von integrierten und höchstintegrierten Halbleiterschaltungen werden in zunehmendem Maße optische Projektionsverfahren und -einrichtungen eingesetzt.

Mittels derartiger Vorrichtungen wird das Bild bzw. die Struktur einer Maske mit Hilfe eines optischen Projektionssystems auf das Halbleitersubstrat übertragen, das höchste Anforderungen an das Auflösungsvermögen der Optik, die Bildfeldgröße, die Konstanz des Abbildungsmaßstabes, der eingesetzten Strahlenquelle sowie andere Abbildungsparameter stellt.

Diese Anforderungen sind mit refraktiven Optiken nur bei monochromatischer Abbildung zu erfüllen.

Aufgrund des großen Unterschiedes zwischen der Dicke der eingesetzten Fotoresistschicht und der Kohärenzlänge des verwendeten monochromatischen Lichtes treten in der Fotoresistschicht Interferenzerscheinungen auf, die sich störend auf den Justier- und Abbildungsprozeß auswirken. Dieser Nachteil tritt auch bei der schrittweisen Belichtung mit einem reduzierten Abbildungsmaßstab ( $1 : x$ ) auf, wobei auf einem Halbleitersubstrat bis zur Strukturierung der Gesamtfläche mehrmals justiert und belichtet werden muß.

Zur weiteren Strukturverkleinerung, zur Verschiebung der oberen Grenze der numerischen Apertur des Objektivs und der auflösbaren Grenzortsfrequenz sowie der Senkung der Strukturbreitenschwankungen infolge von Interferenzerscheinungen in der Resistschicht in Verbindung mit Schichtdickenschwankungen des Resists, zum Beispiel an Stufen eines bereits bearbeiteten Halbleitersubstrates, ist aus der EP - PS 23 231 bekannt, die Belichtung des Halbleitersubstrates in einer Flüssigkeit durchzuführen, deren Brechungsindex dem des Lacküberzuges des Halbleitersubstrates entspricht.

Zur Durchführung dieses Projektionsverfahrens wird zwischen dem Projektionsobjektiv und dem Halbleitersubstrat eine Flüssigkeit so eingebracht, daß sich die Objektivöffnung sowie die Substrataufnahme mit dem Halbleitersubstrat vollständig in der Flüssigkeit befinden, die durch entsprechende Einrichtungen einem das Objektiv und die Substrataufnahme einschließenden Behälter zu- und von diesem abgeführt wird.

Diesem Verfahren haftet der Nachteil an, daß zur Durchführung des Justier- und Belichtungsprozesses erforderliche Substrattischbewegungen nur langsam durchgeführt werden können, da hohe Beschleunigungs- und Verzögerungswerte ein Auslaufen der Flüssigkeit bewirken würden und hohe Strukturauflösung nur bei beruhigten Medium zu erzielen sind. Weiterhin erfordert

die vollständige Flüssigkeitsbenetzung einen hohen Aufwand bei der Substratzu- und -abführung sowie der Reinigung der Substratrückseite. Bei der Beschickung des Flüssigkeitsbehälters mit einem Halbleitersubstrat an diesem anhaftende Luft- oder Gasbläschen, sowie bei der Belichtung von Positivlack entstehende Stickstoffbläschen wirken sich nachteilig auf den Belichtungsprozeß aus, da diese zu Fehlbelichtungen führen.

In der DD-Anmeldung gemäß H 01 L / 240 786/8 ist ein Immersionsobjektiv beschrieben, wobei nur der Raum zwischen der partiell zu belichtenden Substratfläche und der unteren Objektivlinse mit Immersionsflüssigkeit ausgefüllt ist. Dieser Raum wird durch eine sich auf Bildfeldgröße verjüngende Hülse gebildet, die einerseits mit dem Objektiv verbunden und andererseits bis auf einen geringen Abstand zu dem zu belichtenden Halbleitersubstrat abgesenkt werden kann. Die Zuführung der Immersionsflüssigkeit erfolgt über eine externe Drucksteuerung und verbleibt nach den Belichtungsschritten vollständig auf dem Substrat und muß anschließend separat entfernt werden. Des weiteren erfordert ein unkontrollierbares Auslaufen der Flüssigkeit Nacharbeit und Reinigungsaufwand des belichteten Halbleitersubstrates und der Substrataufnahme und Verlust von Immersionsflüssigkeit. Ebenso können eingeschlossene Luft- oder Gasbläschen beim Substratwechsel und beim Anfahren der Substrataufnahme je nach Abstand zwischen der Hülse und dem Substrat zu Defekten führen und somit abbildungsstörend wirken.

### Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht darin, die bei der schrittweisen, partiellen Strukturabbildung mit Hilfe eines Immersionsobjektives störenden Gasblaseneinschlüsse sowie die Schlierenbildung in der Immersionsflüssigkeit zu vermeiden und die Benetzung des Scheibenrandes, des Scheibentisches und der Scheibenrückseite mit Immersionsflüssigkeit auszuschließen.

### Aufgabe der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Immersionsobjektiv für die schrittweise Projektionsabbildung einer Maskenstruktur zu schaffen, das es ermöglicht, Maskenstrukturen hoher Strukturauflösung auf Halbleiterscheiben zu erzeugen, wobei hohe Substrat-tischbewegungen ohne Schlierenbildung und störende Gasblaseneinschlüsse innerhalb der Immersionsflüssigkeit erreicht, die Scheibenränder und -rückseiten, sowie der Scheibentisch durch Immersionsflüssigkeit nicht benetzt werden und hohe Anfangs- und Endbeschleunigungswerte der Scheibentischbewegung keine Auswirkungen auf die Qualität und Produktivität der Anlage zur Projektionsabbildung bewirken.

### Merkmale der Erfindung

Das erfindungsgemäße Immersionsobjektiv weist an seiner dem Halbleitersubstrat zugewandten Seite zwei Immersionssysteme auf, wobei ein erstes Immersionssystem dadurch gebildet ist, daß die am Objektiv angeordnete Vorsatzeinrichtung an ihrer dem Substrat zugewandten und verjüngten Öffnung mittels einer lichtdurchlässigen Scheibe mediendicht verschlossen ist, wobei der Raum zwischen dem letzten optischen Bauteil des Objektivs

und der lichtdurchlässigen Scheibe mit einer Immersionsflüssigkeit vollständig gefüllt ist. Weiterhin ist ein zweites Immersionssystem dadurch vorgesehen, daß eine zweite Immersionsflüssigkeit zwischen der lichtdurchlässigen Scheibe und dem Halbleitersubstrat durch einen an der Vorsatzeinrichtung parallel zur Oberfläche des Halbleitersubstrates angeordneten Ring vorgesehen ist. Der Ring weist dazu in der horizontalen Substrattischbewegung gesehen, wenigstens eine Öffnung vor und wenigstens eine Öffnung nach der Vorsatzeinrichtung des Objektives auf, die über Schlauch- oder Rohrleitungen mit darin installierten Sperreinrichtungen sowie Filter- und Thermostatiereinrichtungen mit Zuführ- und Druckausgleichseinrichtungen verbunden sind, wobei die Schlauch- oder Rohrleitung an der vor der Vorsatzeinrichtung mit der Schlauch- oder Rohrleitung an der nach der Vorsatzeinrichtung vorgesehenen Öffnung ein geschlossenes System bilden, in dem die genannten Einrichtungen integriert sind.

An der Vorsatzeinrichtung selbst sind einerseits Zuleitungen für Immersionsflüssigkeit vorgesehen, die Einrichtungen zur Druckreduzierung, Sperreinrichtungen, Behälter als Speicher- und Druckausgleichseinrichtung sowie Thermostatiereinrichtungen aufweisen, die andererseits mit Ableitungen verbunden sind, womit ein geschlossenes System vorliegt.

In den Zuleitungen für das erste Immersionssystem sind unmittelbar vor deren Austrittsöffnung Einrichtungen zur Druckreduzierung und Flüssigkeitsverteilung vorgesehen.

Des weiteren ist die Vorsatzeinrichtung am Objektiv höhenverstellbar ausgebildet und ist gegen einen oberen und einen unteren Anschlag lagebegrenzt.



Zur Immersionsbelichtung weist die Vorsatzeinrichtung an ihrer der Halbleiterscheibe zugewandten und verjüngten Öffnung als lichtdurchlässige Scheibe eine planparallele Glasplatte oder eine plankonvexe Linse niedriger Brechkraft auf.

In einer Ausgestaltung der Lösung besteht die lichtdurchlässige Scheibe aus einer Folie mit einer dem auf der Halbleiterscheibe aufgetragenen Fotoresist angepaßten Brechzahl.

Die Folie kann in einer Dicke von 0,5 bis 100  $\mu\text{m}$  ausgeführt sein und ist an der dem Objektiv zugewandten Seite für die zur Strukturübertragung, Überdeckungspositionierung und / oder Fokussierung benutzten Wellenlängen des eingesetzten Lichtes entspiegelt und des weiteren der Brechzahl der auf der Halbleiterscheibe angeordneten Immersionsflüssigkeit angepaßt.

Es ist vorteilhaft, wenn die Folie aus Nitrozellulose, Polychinoxalin oder Polycarbonat besteht und daß der Abstand zwischen der planparallelen Glasplatte, der plankonvexen Linse oder der Folie und der Oberfläche des auf der Halbleiterscheibe befindlichen Fotoresist in einem Bereich von 5  $\mu\text{m}$  bis 5 mm beträgt.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist in der Öffnung der Zuleitung in dem an der Vorsatzeinrichtungsunterseite angeordneten Ring eine Führung vorgesehen, in der vertikal beweglich eine Hülse angeordnet ist, deren resistseitige Öffnung kleiner als die darüber angeordnete Zuleitung, beispielsweise wie eine Düse, ausgebildet und daß oberhalb des Ringes ein als Abstandsmeßeinrichtung ausgebildeter Sensor angeordnet ist, der mit außerhalb des Immersionsobjektives vorhandenen Mitteln zur Meßwerterfassung und -auswertung in Wirkverbindung steht. Es ist vorteilhaft, wenn Hülsen für die

Abstandsmessung zur Fokussierung an mehreren Stellen des Ringes angeordnet sind, beispielsweise an drei oder mehr in gleichem Abstand zueinander vorgesehenen Führungen, angeordnet sind. Es ist weiterhin vorteilhaft, wenn das erste und das zweite Immersionssystem die gleiche Immersionsflüssigkeit aufweisen.

Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, wenn die Oberfläche des auf dem Halbleitersubstrat aufgetragenen Fotoresists mit einem Medium geringer Oberflächenspannung, beispielsweise einem Netzmittel, vorbehandelt ist.

Die Immersionsflüssigkeit des ersten und des zweiten Immersionssystems ist während des Belichtungsvorganges thermostatiert und weist vorzugsweise eine Temperatur von  $22 \pm 1^\circ \text{C}$  auf.

Die Lichtquelle für die Strukturübertragung weist eine ultraviolette Strahlung auf, deren Wellenlänge im Spektralbereich von 200 bis 450 nm liegt.

Vor der Einleitung eines Belichtungsprozesses eines auf der Substrataufnahme üblicherweise befestigten und mit Fotoresist beschichteten Halbleitersubstrates wird dessen Oberfläche mit einem Medium geringer Oberflächenspannung, beispielsweise mit einem Netzmittel, versehen und das Halbleitersubstrat wird mit der Substrataufnahme mittels der entsprechenden Einrichtungen in den Bestrahlungsbereich unter die Vorsatzeinrichtung des Objektivs gebracht. Zum Zweck des Belichtungsprozesses ist die Vorsatzeinrichtung zwischen der an der dem Halbleitersubstrat zugewandten, verjüngten Öffnung angeordneten optisch neutralen Schicht, die beispielsweise aus einer planparallelen Glasplatte besteht, und dem objektivseitig letzten optischen Bauelement des Objektivs mit einer Immersionsflüssigkeit vollständig ausgefüllt, wobei die Immersionsflüssigkeit ständig zu- und abgeführt sowie auf einer konstanten Temperatur gehalten wird.

Zur Vermeidung von Schlierenbildungen innerhalb der Immersionsflüssigkeit im Bestrahlbereich sind an den Zuführöffnungen Mittel zur homogenen Verteilung derselben vorgesehen. Die Abführung der Flüssigkeit erfolgt über geeignete Filter und wird über entsprechende Rohr- oder Schlauchleitungen sowie Thermostatier-einrichtungen einer Druckausgleichs- und Speichereinrichtung zugeführt, die ausgangsseitig wiederum mit der Vorsatzeinrichtung in Verbindung steht und somit ein erstes Immersionssystem gebildet ist.

Das zweite Immersionssystem wird dadurch gebildet, daß unmittelbar vor der Einleitung des Strukturierungsprozesses Immersionsflüssigkeit durch die an dem Ring angeordneten Zuführungsöffnung, in Substrattischbewegung gesehen, vor der Vorsatzeinrichtung, mit Hilfe der entsprechenden Regel- und Steuereinrichtungen auf die Halbleiterscheibe bzw. dessen mit Fotoresist und mit dem Netzmittel versehene Oberfläche gegeben und anschließend die Vorsatzeinrichtung so weit abgesenkt wird, daß der sich zwischen dem Ring und der lichtdurchlässigen Scheibe an der Unterseite der Vorsatzeinrichtung gebildete Immersionsflüssigkeitsfilm während der Substrattischbewegung konstant bleibt und nicht abreißt. Die Zuführung der Immersionsflüssigkeit erfolgt dabei mengenmäßig so, daß vor der Zuführöffnung ein Flüssigkeitswall entsteht.

Der Belichtungsprozeß erfolgt, wenn die Flüssigkeit den Spalt zwischen der Vorsatzeinrichtung und der Halbleiterscheibe voll ausgefüllt hat, schrittweise so, daß die Immersionsflüssigkeit, in Substrattischbewegungsrichtung hinter der Vorsatzeinrichtung, durch die entsprechenden Abführeinrichtungen im Ring abgesaugt und dem zweiten

System wieder zugeführt wird. Bei der am Substratende erfolgenden Richtungsänderung des Belichtungsvorganges werden die Funktionen der vorhandenen Zu- und Abführeinrichtungen für die Immersionsflüssigkeit entsprechend umgesteuert, so daß die zweite Belichtungsspur bei der Rückführung des Substrattisches analog der Vorwärtsbewegung realisiert wird. Die genannten Operationen werden bis zur vollständigen Strukturierung des Halbleitersubstrates wiederholt. Am Ende des Belichtungsvorganges kann bei entsprechender Steuerung der Zu- und Abführeinrichtungen die unter der Vorsatzeinrichtung befindliche Immersionsflüssigkeit abgesaugt werden und die Vorsatzeinrichtung wird für den Substratwechsel in die entsprechende Position angehoben.

Der Einsatz der vertikal in der Führung innerhalb des Ringes angeordneten Hülse ermöglicht in Verbindung mit den zugeordneten Mitteln Sensor, Meßwert- erfassungs- und -auswerteeinrichtung die präzise Belichtungsabstandsmessung, Fokussierung und Ebenenzuordnung während des Strukturierungsprozesses.

#### Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird anhand eines Ausführungsbeispieles und Zeichnungen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 : die schematische Darstellung eines Immersionsobjektives gemäß der Erfindung,
- Fig. 2 : das Blockschaltbild eines Belichtungsvorganges,
- Fig. 3 : eine Variante des erfindungsgemäßen Immersionsobjektivs, schematisch,
- Fig. 4 : die Einrichtung zur Höhermessung.

Gemäß der Fig. 1 weist das Immersionsobjektiv am Objektiv 1 eine Vorsatzeinrichtung 7 auf, die an ihrer der Substrataufnahme 16 zugewandten Seite bis auf den Belichtungsdurchmesser verjüngt ist. Die verjüngte Öffnung ist durch eine lichtdurchlässige Scheibe 3 mediendicht mittels einer Fassung 3.1 verschlossen. An der objektivseitigen Öffnung der Vorsatzeinrichtung 7 ist ein Ring 6 vorgesehen, womit die Vorsatzeinrichtung 7 gegen einen oberen Anschlag 6.1 sowie einen unteren Anschlag 6.2 lagebegrenzbar ist. Der kegelförmige Teil der Vorsatzeinrichtung 7 ist doppelwandig ausgeführt, wobei die innere Wandung 7.2 an bestimmten Stellen Öffnungen aufweist. In der Außenwand 7.1 sind ebenfalls an vorbestimmten Punkten Öffnungen angeordnet, in denen Zuleitungen 17 bzw. Ableitungen 18 eingebunden sind. Vor den Öffnungen der Zu- bzw. Ableitungen 17; 18 sind zwischen der Innenwand 7.2 und der Außenwand 7.1 Prallbleche 19 vorgesehen.

Die an der zeichnungsgemäß rechten Außenwand 7.1 der Vorsatzeinrichtung 7 vorgesehene Zuleitung 17 ist in ihrer weiteren Ausführung mit einer Sperreinrichtung 15 sowie mit einer Druckausgleichs- und Speichereinrichtung 14 verbunden, an der ein Anschluß 14.1 vorgesehen ist. Die an der zeichnungsgemäß linken Außenwand 7.1 angeordnete Ableitung 18 weist eine Filter- und Thermostatiereinrichtung 8 auf, deren Ausgang 8.1 mit dem Anschluß 14.1 verbunden ist. Der zwischen dem objektivseitig letzten optischen Bauteil 2 und der optisch neutralen, durchscheinenden Scheibe 3 vorhandene Hohlraum 4 ist vollständig mit einer Immersionsflüssigkeit 4.1 angefüllt, die über die Zu- und Ableitungen 17; 18 sowie den Ausgang 8.1 und den Anschluß 14.1 ausgebreitet ist und somit ein geschlossenes erstes Immersionssystem bildet.

Zum Aufbau eines zweiten Immersionssystems ist an der Unterseite der Vorsatzeinrichtung 7 ein Ring 9 vorgesehen, in dem wenigstens je eine Öffnung 10 und 11 vorgesehen ist, die in Substratbewegungsrichtung gesehen, vor bzw. nach der Vorsatzeinrichtung angeordnet sind. Die mehrfache Anordnung der Öffnungen 10; 11 kann beispielsweise so ausgeführt sein, daß sie auf einem gemeinsamen Teilkreis angeordnet, um die untere Öffnung der Vorsatzeinrichtung 7 abstandsweise bis jeweils mittig vorgesehen sind. Die Öffnung bzw. Öffnungen 10 in dem Ring 9 sind über entsprechende Anschluß- und Verbindungselemente mit Schlauch- oder Rohrleitungen 12 verbunden, die in Weiterführung mit einer Druckausgleichs- oder / und Speichereinrichtung 14 verbunden sind. Die Leitungsführung ist dabei so gestaltet, daß die Schlauch- oder Rohrleitung 12 vor der Druckausgleichs- oder / und Speichereinrichtung geteilt ist, wobei strömungstechnisch eine Verzweigung 12.1 für eine zweite Immersionsflüssigkeit 4.1 die Strömungsrichtung durch eine offene Sperreinrichtung 15, sowie eine in der anderen Verzweigung in Sperrichtung angeordnete Sperreinrichtung 15.1 die Flußrichtung vorgegeben ist. Nach der Sperreinrichtung 15 ist eine Filter- und Thermostatiereinrichtung 8 vorgesehen und nach der Druckausgleichs- und / oder Speichereinrichtung 14 ist in deren ausgangsseitigem Anschluß die Rohr- oder Schlauchleitung 12 weitergeführt und vor der Verzweigung ist die Sperreinrichtung 15.1, jetzt auf Durchgang für aus dieser Richtung strömende Immersionsflüssigkeit 4.1 angeordnet, vorgesehen. Wenn mehrere als Zuleitungen geschaltete Schlauch- oder Rohrleitungen 12 vorgesehen sind, sind diese vor der Verzweigung 12.1 vereinigt, so daß eine Zuführung von Immersionsflüssigkeit über alle vorgesehenen Öffnungen 10 erfolgt.

Die Öffnung oder die Öffnungen 11 sind in Verbindung mit der Schlauch- oder Rohrleitung 13 in der in Fig. 1 dargestellten Variante als Absaugung vorgesehen, wobei die abgesaugte Immersionsflüssigkeit 4.1 durch entsprechende Einrichtungen gefördert und den Einrichtungen zur Aufbereitung und Zuführung auf das beschichtete Halbleitersubstrat 16 vor der Vorsatzeinrichtung 7 zugeführt wird.

Die Öffnungen 10; 11 sind in Abhängigkeit von der Bewegungsrichtung des Halbleitersubstrates 25 wahlweise als Zuführungen für die Immersionsflüssigkeit 4.1 jeweils vor der Vorsatzeinrichtung 7, bzw. als Absaugung jeweils nach der Vorsatzeinrichtung 7 während der Bewegung des Halbleitersubstrates 25 einsetzbar.

Die gemäß der Fig. 1 verwendete Immersionsflüssigkeit 4.1 ist sowohl innerhalb der Vorsatzeinrichtung 7 als auch zwischen der Vorsatzeinrichtung 7 und der Oberfläche des beschichteten Fotoresists 26; 27 thermostatiert, wobei vorzugsweise eine Temperatur von  $22 \pm 1^\circ \text{C}$  konstant gehalten ist.

In der Fig. 4 ist eine Einrichtung zur Differenzmessung des Abstandes 9 zwischen der Oberfläche des Fotoresists 26 und der lichtdurchlässigen Scheibe 3 bzw. der Unterkante des Ringes 9, die einem vorgegebenen Belichtungsabstand entspricht, dargestellt. Dazu weist eine in dem Ring vorgesehene Öffnung 10 eine Führung 20 auf, in der eine Hülse 21 mit einer als eine Düse 24 ausgebildeten unteren Öffnung beweglich angeordnet ist. Die Hülse 21 ist oberhalb des Ringes 9 mit einem Sensor 22 gekoppelt, der mit Mitteln zur Meßwerterfassung und -auswertung 23 verbunden ist. Die Oberseite der Hülse 21 ist mit einer Zuleitung 17 für die Zuführung von Immersionsflüssigkeit 4.2 verbunden.

Bei der Zuführung der Immersionsflüssigkeit 4.1 konstanter Strömungsgeschwindigkeit durch die mit der Düse 24 verschiebbare Hülse 21 bewirkt die Verkleinerung des Spaltes a durch Anheben des Scheibentisches eine Erhöhung des Strömungswiderstandes und somit eine Vergrößerung des Kraftvektors normal zur Oberfläche des Fotoresists 26 bzw. dem Ring 9, womit eine Verschiebung der Hülse 21 erfolgt, diese von dem Sensor 22 registriert und die Information an einen elektromechanischen Koppler innerhalb der Mittel zur Meßwerterfassung und -auswertung 23 zugeführt und eine Verschiebung des Scheibentisches bewirkt wird. Vorteilhaft ist die als Meßsonde ausgebildete Hülse 21 an mehreren Öffnungen 10; 11 vorgesehen, wobei die Anordnung vorzugsweise dreieckförmig innerhalb des Ringes 9 vorgesehen und somit eine Flächenzuordnung realisiert werden kann.

Die in der Fig. 3 dargestellte Ausgestaltung des Immersionsobjektives weist ebenfalls eine Vorsatzeinrichtung 7 auf, die einwandig ausgeführt ist, und die zwischen dem objektivseitig letzten optischen Bauteil 2 und der verjüngten, unteren Öffnung einen Raum 4 bildet.

An ihrer der mit dem Fotoresist 26 beschichteten Halbleitersubstrat 25 zugewandten unteren Öffnung ist eine lichtdurchlässige Scheibe 3 in einer Fassung 3.1 vorgesehen, die dem Durchmesser des Bildfeldes entspricht, die objektivseitige Öffnung weist ebenfalls einen Ring 6 sowie einen unteren und oberen Anschlag 6.1; 6.2 auf. Der an der verjüngten Seite in einer Ebene mit der lichtdurchlässigen Scheibe 3 befindliche Ring 9.1 ist mit Bohrungen / Öffnungen 10; 11 versehen, die jeweils auf zwei voneinander unterschiedlichen Teilkreisen um die optische Achse A angeordnet sind.



Die Öffnungen 10 sind abstandsweise zwei- oder mehrfach auf dem inneren Teilkreis vorgesehen und sind über Zuleitungen 17 sowie Sperreinrichtungen 28 zentral mit einer Druckausgleichs- und Speichereinrichtung verbunden. Auf dem äußeren Teilkreis sind wenigstens zwei oder mehrere Öffnungen 11 abstandsweise vorgesehen, die Ableitungen 18 mit Sperreinrichtungen 29 aufweisen, die in ihrer weiteren Anordnung untereinander verbunden und über eine Rohr- oder Schlauchleitung 13 einer Filter- und Thermostatierung 8 zugeführt sind, die ausgangseitig wiederum mit dem Eingang der Druckausgleichs- oder Speichereinrichtung 14 verbunden ist.

Bei / Vor der Inbetriebnahme der erfindungsgemäßen Vorsatzeinrichtung ist die Immersionsflüssigkeit 4.1 in den entsprechenden Speichereinrichtungen und der Spalt a für den Belichtungsabstand ist durch Absenken der Vorsatzeinrichtung 7 oder Anheben des Scheibentisches eingestellt. In Verbindung mit der dem ersten Belichtungsschritt zugeordneten Relativbewegung des Substrattisches 16 erfolgt über die Zuführungen 17 der Zufluß der Immersionsflüssigkeit 4.1 über die Öffnungen 10 auf die Oberfläche des mit dem Resist 26 beschichteten Halbleitersubstrates 25 derart, daß der Spalt a mit einem homogenen Flüssigkeitsfilm ausgefüllt wird und bezogen auf die Relativbewegung des Substrattisches 16 vor dem Ring 9.1 ein schmaler Flüssigkeitswall 4.2 entsteht. Nach dem Flüssigkeitsauftrag über die Zuführungen 17 sowie nach einem durchgeführten Belichtungsschritt wird mittels einer entsprechenden Steuerung der Sperrereinrichtungen 28; 29; 30 sowie der Druckausgleichs- und Speichereinrichtung 14 die Immersionsflüssigkeit 4.1 durch die Öffnungen 11 mit den angeschlossenen Ableitungen 18 abgeführt und den nachgeschalteten Vorrichtungen zur Reinigung, Temperierung und Speicherung 8; 14 zugeleitet.

In der Fig. 2 ist das Blockschaltbild eines Belichtungsvorganges dargestellt.

Die Halbleitersubstratbelichtung erfolgt gemäß eines vorgegebenen Ablaufprogrammes derart, daß ein Halbleitersubstrat mit einem Netzmittel vorbehandelt in die Belichtungseinrichtung gegeben und auf dem Substrattisch nach einem Vorjustierprozeß befestigt wird.

Es besteht auch die Möglichkeit, das Netzmittel nach dem Vorjustier- oder Spannprozeß unmittelbar in der Belichtungseinrichtung aufzutragen.

Anschließend daran erfolgt der Transport des Substrattisches mit dem Halbleitersubstrat unter das mit der Vorsatzeinrichtung ausgestattete Objektiv und die Vorsatzeinrichtung wird bis auf den Belichtungsabstand abgesenkt. Durch die Zufuhr thermostatisierter Immersionsflüssigkeit durch die entsprechenden Öffnungen bei kreisförmiger Bewegung des Substrattisches erfolgt die Ausbildung eines stabilen Immersionsflüssigkeitsfilmes zwischen Fotoresist bzw. dem Netzmittel und der Unterkante der lichtdurchlässigen Scheibe bzw. dem Ring an der Vorsatzeinrichtung.

Im folgenden Schritt wird die erste Belichtungsposition angefahren, während weitere Immersionsflüssigkeit zugeführt wird, das Halbleitersubstrat wird positioniert und der erste Belichtungsschritt erfolgt.

Die weitere Belichtungsfolge wird analog der Erstbelichtung bis zur vollständigen Halbleitersubstratbelichtung durchgeführt und die Zufuhr von Immersionsflüssigkeit gesperrt.

Im anschließenden Schritt wird die auf dem Halbleitersubstrat befindliche Immersionsflüssigkeit durch kreisförmige Bewegung des Substrattisches abgesaugt, und die Vorsatzeinrichtung angehoben, so daß abschließend der Substratwechsel erfolgen und die Weiterbearbeitung von Folgesubstraten durchgeführt werden kann.

Die Vorteile des erfindungsgemäßen Immersionsobjektivs ergeben sich insbesondere dadurch, daß durch den konstanten Durchfluß von Immersionsflüssigkeit sowohl zwischen der Vorsatzeinrichtung und dem Fotoresist auf dem Halbleitersubstrat als auch zwischen dem objektivseitig letzten optischen Bauelement und der lichtdurchlässigen Scheibe keine Staubpartikel-, Luft- oder Gasblaseneinschlüsse den Belichtungsprozeß negativ beeinflussen. Die Anordnung der Immersionsschicht gemäß der erfinderischen Lösung erlaubt es weiterhin, hohe Relativbewegungen des Substrattisches auszuführen, ohne daß das Halbleitersubstrat außerhalb des Belichtungsfeldes verunreinigt wird, desgleichen ist eine Rückseitenverschmutzung ausgeschlossen, die bei den bekannten Lösungen zu einer hohen Nacharbeit führt. Des weiteren ist die Benetzung der Substrataufnahme und des unmittelbaren Substrattischbereiches weitestgehend ausgeschlossen. Die Behandlung der Resistoberfläche mit einem Netzmittel ermöglicht dabei eine annähernd restlose Beseitigung von Immersionsflüssigkeit, womit der für folgende Bearbeitungsschritte erforderliche Reinigungsaufwand stark reduziert werden kann.

## Erfindungsanspruch

1. Immersionsobjektiv für die Projektionsabbildung einer Maskenstruktur auf Halbleitersubstrate für fotolithografische Verfahren zur Herstellung integrierter Halbleiterschaltungen, das in einer zwischen dem Objektiv und dem Halbleitersubstrat angeordneten Vorsatzeinrichtung eine gesteuert zugeführte, dem Brechungsindex des Fotoresists entsprechende Flüssigkeit aufweist, gekennzeichnet dadurch, daß am Objektiv (1) ein erstes Immersionssystem vorgesehen ist, wobei die am Objektiv (1) angeordnete Vorsatzeinrichtung (7) an ihrer dem Substrat zugewandten verjüngten Öffnung mittels einer lichtdurchlässigen Scheibe (3) mediendicht verschlossen ist und daß der zwischen dem letzten optischen Bauteil (2) und der lichtdurchlässigen Scheibe (3) vorhandene Hohlraum (4) mit einer Immersionsflüssigkeit (4.1) raumfüllend versehen ist und daß weiterhin ein zweites Immersionssystem vorgesehen ist, bei dem an der Vorsatzeinrichtung (7) parallel zur Oberfläche des Substrates (25) ein Ring (9) mit dem Gehäuse (7.1) der lichtdurchlässigen Scheibe (3) verbunden ist, in dem in Substratbewegungsrichtung gesehen, abstandsweise wenigstens eine Öffnung (10) vor und wenigstens eine Öffnung (11) nach dem Objektiv (1) angeordnet ist, die über Schlauch- oder Rohrleitungen (12; 13) mit darin installierten Sperreinrichtungen (15) sowie Filter- und Thermostatiereinrichtungen (8) mit Zuführ- und Druckausgleichseinrichtungen (14) verbunden sind und als geschlossenes System gebildet ist.

2. Immersionsobjektiv gemäß Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß an der Vorsatzeinrichtung (7) einerseits Zuleitungen (17) für die Immersionsflüssigkeit (4.1) vorgesehen sind, in denen Einrichtungen zur Druckreduzierung (5) und Sperreinrichtungen (15) enthalten sind, daß weiterhin Behältnisse als Speicher- und Druckausgleichseinrichtungen (14) für die Immersionsflüssigkeit (4.1) zugeordnet und daß andererseits wenigstens eine Ableitung (18) mit Filter- und Thermostatiereinrichtungen (8) angeordnet sind, die mit dem Anschluß (14.1) der Zuführ- und Druckausgleichvorrichtung (14) ein geschlossenes System bilden.
3. Immersionsobjektiv gemäß Punkt 2, gekennzeichnet dadurch, daß vor der Austrittsöffnung der Zuleitung (17) Prallbleche (19) angeordnet sind.
4. Immersionsobjektiv gemäß den Punkten 1 bis 3, gekennzeichnet dadurch, daß ein Ring (6) der Vorsatzeinrichtung (7) am Objektiv (1) gegen Anschläge (6.1; 6.2) höhenverstellbar ist.
5. Immersionsobjektiv gemäß Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß die lichtdurchlässige Scheibe (3) aus einer planparallelen Glasplatte oder einer plankonvexen Linse niedriger Brechkraft besteht.
6. Immersionsobjektiv gemäß der Punkte 1 und 5, gekennzeichnet dadurch, daß die lichtdurchlässige Scheibe (3) aus einer Folie mit einer dem Fotoresist (26) angepaßten Brechzahl besteht.
7. Immersionsobjektiv gemäß der Punkte 1, 5 und 6, gekennzeichnet dadurch, daß die Folie eine Dicke

zwischen 0,5 und 100  $\mu$ m aufweist, daß die Folie und die planparallele Glasplatte an der dem Objektiv (1) zugewandten Seite für die zur Strukturübertragung, Überdeckungspositionierung und / oder Fokussierung benutzten Wellenlängen des eingesetzten Lichtes entspiegelt sind und eine der auf dem Halbleitersubstrat (25) befindlichen Immersionsflüssigkeit (4.1) angepaßte Brechzahl aufweisen.

8. Immersionsobjektiv gemäß Punkt 6 und 7, gekennzeichnet dadurch, daß die Folie aus Nitrozellulose, Polychinoxalin oder Polycarbonat besteht.
9. Immersionsobjektiv gemäß der Punkte 1 u.5 bis 8, gekennzeichnet dadurch, daß die lichtdurchlässige Scheibe (3) in einem Bereich von 5  $\mu$ m bis 5 mm über dem Halbleitersubstrat (25) angeordnet ist.
10. Immersionsobjektiv gemäß Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß die Öffnung (10) der Zuleitung (17) eine Führung (20) aufweist, in der vertikal beweglich eine Hülse (21) mit einer Düse (24) angeordnet ist, wobei an der Hülse (21) oberhalb des Ringes (9) ein als Abstandsmßeinrichtung ausgebildeter Sensor (22) sowie weiterhin außerhalb des Immersionsobjektives Mittel zur Meßwerterfassung und -auswertung (23) vorgesehen sind.
11. Immersionsobjektiv gemäß Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß das zweite Immersionssystem mit der Immersionsflüssigkeit (4.1) versehen ist.
12. Immersionsobjektiv gemäß der Punkte 1 bis 11, gekennzeichnet dadurch, daß die Oberfläche des auf dem Halbleitersubstrates (25) aufgetragenen

Fotoresists (26) mit einem Medium geringer Oberflächenspannung, beispielsweise mit Netzmittel (27), vorbehandelt ist.

13. Immersionsobjektiv gemäß der Punkte 1 bis 12, gekennzeichnet dadurch, daß die Immersionsflüssigkeit (4.1) einen vorgegebenen Temperaturbereich aufweist.
14. Immersionsobjektiv gemäß Punkt 13, gekennzeichnet dadurch, daß die Temperatur der Immersionsflüssigkeit (4.1)  $22 \pm 1^{\circ} \text{C}$  beträgt.
15. Immersionsobjektiv gemäß der Punkte 1 bis 14, gekennzeichnet dadurch, daß als Strahlenquelle für die Strukturübertragung ultraviolettes Licht eingesetzt ist, deren Wellenlänge im Spektralbereich von 200 bis 450 nm liegt.

- Hierzu siehe 3 Blatt Zeichnungen -

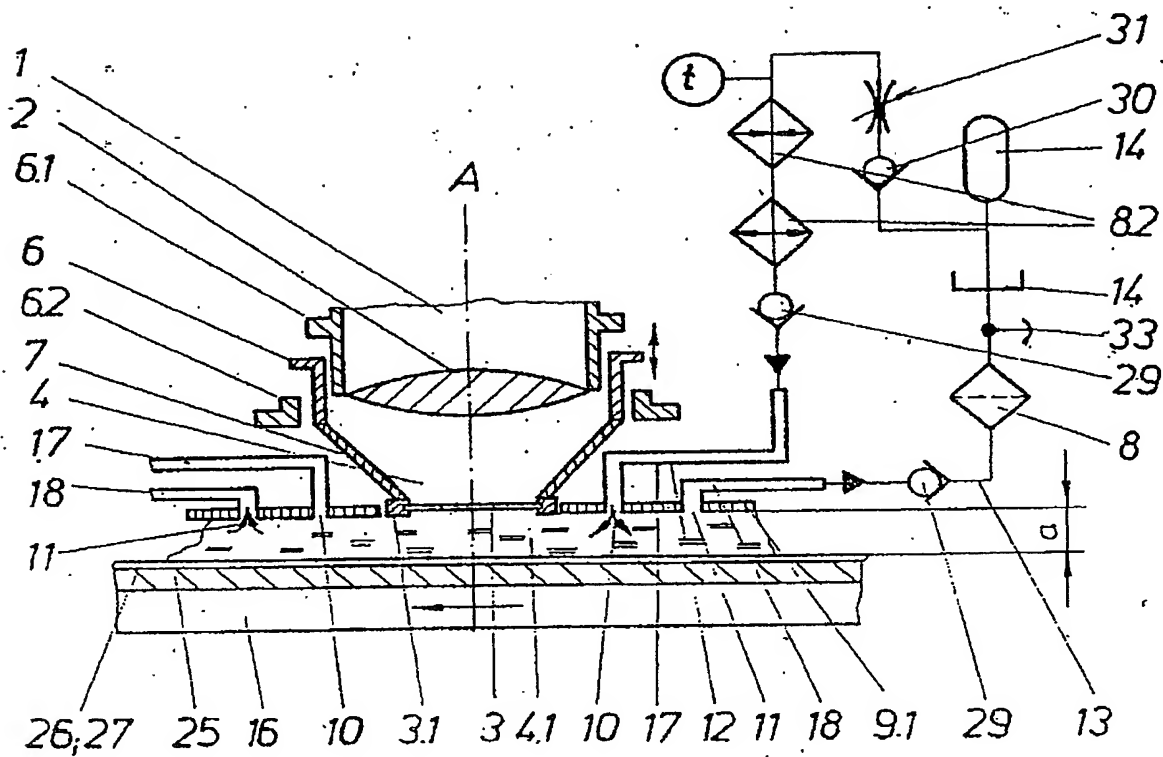


Fig. 1



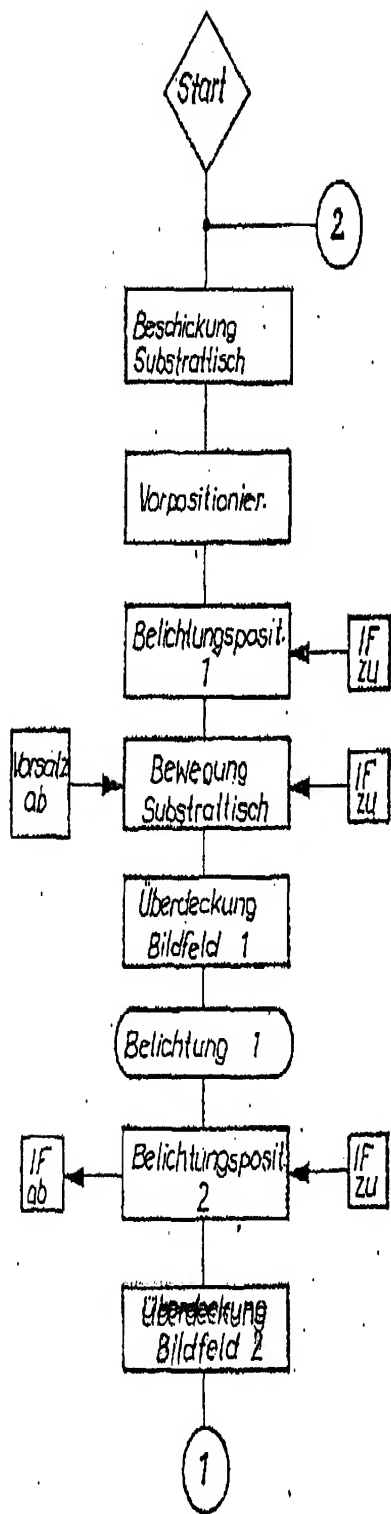
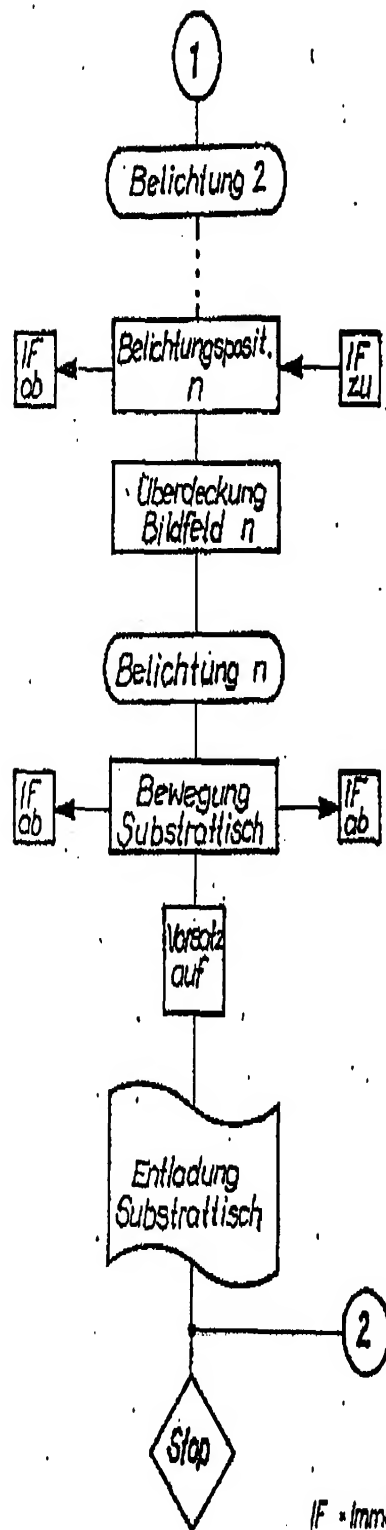


Fig. 2



IF = Immersionsflüssigkeit